

1.まえがき

変位一定の条件（ここでは簡単化のため圧電素子の歪みを一定の条件）でバイモルフ型の発電機を振動させた場合の電気出力（R 負荷）の計算式について以下に示す。

2.基礎式の導出

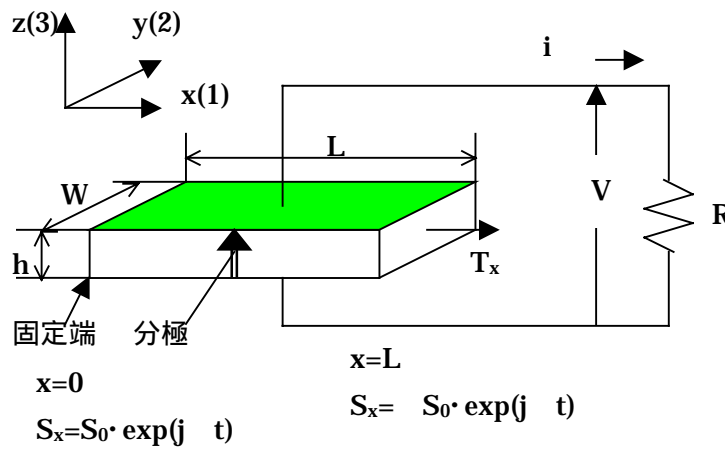


図 1. バイモルフ型発電機の計算モデル

図 1 に計算モデルを示す。バイモルフ型の歪み分布は x に比例するので、固定端の歪みを  $S_0 \cdot \exp(j \omega t)$ 、右端部の歪みを  $\beta \cdot S_0 \cdot \exp(j \omega t)$ （ $\beta$ ：減衰比）すると、

$$S_x(x) = \left\{ 1 - \frac{(1-\beta)}{L} x \right\} S_0 \exp(j \omega t) \quad \text{-----(1)}$$

また、圧電方程式は次式で与えられる。

$$S_x = s_{11}^E \cdot T_x + d_{31} \cdot E_z \quad \text{-----(2,a)}$$

$$D_z = d_{31} \cdot T_x + \epsilon_{33}^T \cdot E_z \quad \text{-----(2,b)}$$

ここで、 $S_x$ ：x 方向の歪、 $T_x$ ：x 方向応力(N/m<sup>2</sup>)、 $E_z$ ：電界の z 方向成分(V/m)、 $D_z$ ：電気変位の z 方向成分(C/m<sup>2</sup>)、 $s_{11}^E$ ：電界一定の場合の弾性コンプライアンス、 $\epsilon_{33}^T$ ：応力一定の場合の誘電率、 $d_{31}$ ：圧電定数を示す。

電気回路の電圧 V、電流 i は、場の量を全て複素数とし  $\exp(j \omega t)$  の表記を省略して書く

と

$$\text{電圧 (波高値)} V = -\int E_z \cdot dz = -h \cdot E_z \quad \text{-----(3,a)}$$

$$\text{電流 (波高値)} i = \frac{d}{dt} (\iint D_z \cdot dxdy) = j\omega \iint D_z \cdot dxdy \quad \text{-----(3,b)}$$

ここで、(2,a)、(2,b)式から

$$\begin{aligned} \iint D_z \cdot dxdy &= d_{31} \iint T_x \cdot dxdy + W \cdot L \cdot \epsilon_{33}^T \cdot E_z \\ &= \frac{d_{31}}{s_{11}^E} \iint S_x \cdot dxdy + W \cdot L \cdot \epsilon_{33}^T \left(1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T \cdot s_{11}^E}\right) E_z \end{aligned}$$

また、(1)式から

$$\iint S_x \cdot dxdy = W \cdot S_0 \int_0^L \left(1 - \frac{1-\beta}{L} x\right) \cdot dx = \frac{W \cdot L \cdot (1+\beta) \cdot S_0}{2}$$

これらと(3,a)、(3,b)式をまとめると、電気回路の関係式として

$$i = j\omega \frac{d_{31} \cdot W \cdot L \cdot (1+\beta) \cdot S_0}{2 \cdot s_{11}^E} - j\omega \frac{W \cdot L \cdot \epsilon_{33}^T}{h} \left(1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T \cdot s_{11}^E}\right) V \quad \text{-----(4)}$$

$$i = \frac{V}{R}$$

が得られる。したがって、図1のモデルの等価電気回路は図2のようになる。

なお、図の電流源  $I_0$  および  $C$  は以下の通りである。

$$\begin{aligned} I_0 &= j\omega A_0 \\ A_0 &= \frac{d_{31} \cdot W \cdot L \cdot (1+\beta) \cdot S_0}{2 \cdot s_{11}^E} \quad \text{-----(5)} \\ C &= \frac{W \cdot L \cdot \epsilon_{33}^T}{h} \left(1 - \frac{d_{31}^2}{\epsilon_{33}^T \cdot s_{11}^E}\right) \end{aligned}$$

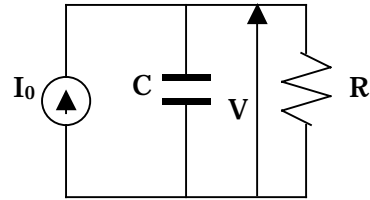


図2 電気的な等価回路

従ってパイモルフの容量（コンデンサ成分）が無視できるような通常のアプリケーションにおいては出力電流は以下の要素に比例する。

- ・ パイモルフの歪の大きさ
- ・ パイモルフの面積
- ・ 振動の周波数